

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.05005

牟传龙, 2022. 中国岩相古地理研究进展. 沉积与特提斯地质, 42(3):340-349. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.05005

MOU C L, 2022. The research progress of lithofacies paleogeography in China. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(3):340-349. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.05005

中国岩相古地理研究进展

牟传龙^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心), 四川 成都 610081; 2. 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081; 3. 中国地质调查局沉积地质研究中心, 四川 成都 610081)

摘要:我国的岩相古地理研究大致经历了三个大的发展时期。初期阶段:20世纪80年代以前,主体是以古生物地层学的理论为指导编制出版大区域的古地理图集,集中反映海陆分布,岩相内容较少,较少的学者开展了岩相古地理研究,揭开了由古地理图向岩相古地理图转变的序幕。快速发展阶段:20世纪80年代至2000年,总体上是以大地构造学、古生物地层学、沉积学等理论为指导,开展了大量的岩相古地理研究与编图工作,并采取多种编图思路和方法编制大区域的岩相古地理图,是我国岩相古地理研究与编图大发展时期,形成了丰硕的理论和实践成果。编制的图件不仅尽量体现活动性古地理的学术前沿,而且更多的是强化实用性,聚焦对沉积层控矿产远景预测和油气勘探的支撑和指导作用。现代阶段:2000年至今,岩相古地理研究与编图聚焦支撑油气地质调查与勘探成为了这段时间的主题,采取不同的编图思路和方法编制出版了大区域的岩相古地理图。具有三大特点:一是编图资料丰富,技术方法新颖;二是编图思路先进,体现了以构造为主线,岩相古地理恢复为核心,支撑服务油气为根本的研究思路;三是以服务油气目标为特色。由于大数据、人工智能等信息技术突飞猛进促进大数据岩相古地理向前发展,数字岩相古地理必将推动我国在岩相古地理编图思路和技术方法的创新,提升支撑服务沉积矿产找矿和油气勘探开发的精准性和预测性水平。

关键词:岩相古地理;研究与编图;油气勘探;大数据;发展趋势

中图分类号:P531

文献标识码:A

The research progress of lithofacies paleogeography in China

MOU Chuanlong^{1,2,3}

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China; 2. Key Laboratory of Sedimentary Basin & Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610081, China; 3. Sedimentary Geology Research Center of Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China)

Abstract: The study of lithofacies paleogeography in China has experienced three stages of development. Early stage: before the 1980s. The main subjects were the paleogeographic atlas of a large area under the theoretical guidance of paleontology stratigraphy, which more reflected the distribution of sea and land. The content of lithofacies was less. A few scholars had carried out the study of lithofacies paleogeography, which opened the prelude of the transformation from paleogeographic map to lithofacies paleogeography map. Rapid development stage: 1980s to 2000. Overall in geotectonics, palaeontologic stratigraphy and sedimentology theory as the instruction, a large number of lithofacies palaeogeographic research and mapping works with a variety of mapping

收稿日期: 2021-12-31; 改回日期: 2022-03-06 责任编辑:郭秀梅

作者简介: 牟传龙(1965—),男,研究员,博士生导师,主要从事沉积学(含古地理学)、油气地质研究。E-mail: cdmchuanlong@163.com

资助项目: 国家自然科学基金项目(41772113)

thoughts and methods had been carried out, and lithofacies paleogeographic maps of large area have been completed. It was a period of great development of lithofacies palaeogeography and mapping in China, fruitful theoretical and practical achievements had been produced in this stage. These maps not only reflected the academic frontier of active paleogeography, but also strengthened the practicability. Furthermore, the support and guidance of prospect prediction in sedimentary mineral and oil-gas exploration was focused on. Modern stage: 2000 to present. Lithofacies palaeogeography research and mapping focusing on supporting oil and gas geological survey and exploration has become the theme in this period, different mapping thoughts and methods have been applied to these lithofacies palaeogeography maps of large areas. There are three main characteristics: first, abundant mapping data and novel technical methods has been used. The second is the advanced mapping idea, which reflects the research idea of tectonics as the main line and restoration of lithofacies paleogeography as the core, and the support of oil and gas exploration as the fundamental. Third, it is characterized by targets on service of oil and gas exploration. Because of the rapid advances in big data, artificial intelligence and other information technology, the development of big data lithofacies palaeogeography has also propelled forward. The digital lithofacies palaeogeography will certainly promote the innovation in mapping ideas and technical methods of lithofacies palaeogeography in China, which can improve the accuracy and predictability of sedimentary mineral prospecting and oil and gas exploration and development.

Key words: Lithofacies paleogeography; research and mapping; oil and gas exploration; big data; the development trend

“岩相古地理”这个术语一直在我国流传极广(刘宝珺和曾允孚,1985),主要包括岩相和古地理(古环境)方面的内容。所谓岩相古地理研究是指应用大地构造学、古生物与地层学、沉积岩石学、沉积学甚至沉积地质学等学科的理论方法开展岩相、古地理的专题研究,通过编图的方式,形成岩相古地理图。目的是直观反映地质历史某一时期某一地区的岩相古地理格局的空间分布规律,分析岩相古地理的时空演化历史或者海陆分布,厘定沉积、层控矿床和油气地质条件的有利相带,为地质找矿和油气地质调查和勘探提供科学依据。岩相古地理图包括岩相和古地理两部分主要内容,由于需求和研究程度的不同,会采取不同的编图思路 and 编图方法,编制不同比例尺的岩相古地理图。我国岩相古地理研究起步较早,取得了一系列的成果,文章和专著非常多。尤其是采取不同的编图思路和指导理论以及服务的对象不同,不同时期均有具有代表性的大区古地理图集或岩相古地理图集,为岩相古地理的发展及其油气勘探和沉积矿产的预测作出了重要的贡献。21 世纪以来,大区的岩相古地理图集更多聚焦服务于油气勘探,并在指导思想、编图方法和编图技术等方面取得了创新的认识。相比于国际,我国开展的岩相古地理研究与编图特色明显、思路先进、应用性强,位居国际研究前列。

1 引言

近代地质科学的奠基人当属莱伊尔(Charles Lyell)和盖基(A. Geikie)两位英国地质学家。莱伊尔(Charles Lyell, 1830)出版的《地质学原理》揭开了开展地质学研究的序幕,建立起了研究地质科学的“现实主义”的原则和方法,成为地质科学研究的指南。盖基(A. Geikie, 1905)提出的著名格言“现代是打开过去的钥匙(The present is the key to the past)”,为地质学“将今论古”的思维方法提供了科学逻辑,为沉积岩石学和沉积学提供了研究原则和方法。

岩相古地理学的发展与沉积岩石学、沉积学的发展紧密相关。沉积岩石学是岩石学的分支学科,主要的研究对象是古代的沉积物——沉积岩,是描述沉积岩的学科。其实,开展沉积岩的研究最早是由开展地层学工作人员开始的,他们通过野外直接确定沉积岩的厚度和延伸的几何形态。由威廉·斯密斯 1815 年编制的英格兰地质图(地层)是沉积物研究的重要标志,首次描绘了一个区域内沉积岩的空间分布(Pettijohn, 1975)。地层学工作者开创了沉积岩研究的历史,地层学工作的贡献和研究成果为沉积学的发展奠定了坚实的基础。但是,地层学工作更加注意的是地层的层序、时代,注重建立地层的纵向叠置序列及其横向对比关系,对岩石的

性质研究较为粗略,从这个角度来讲,沉积岩的早期研究属于地层学的范畴。

沉积岩从地层学分离出来成为重要的岩石学分支学科,应该是由索尔贝(Sorby,1851)开启的,他是岩石学的奠基人(Folk,1965)。索尔贝首次用薄片研究沉积岩的微观特征,是把显微镜用于沉积岩研究的第一人,关于石灰岩的微观岩石学是其代表作,“石灰岩的构造和成因”(Sorby,1879)和“非钙质成层岩石的构造和成因”(Sorby,1880)的论文是沉积岩研究发生转折的标志,具有里程碑意义,开启了沉积岩石学学科的大力发展,逐渐成为一门研究沉积物的成分、结构构造、分类及其成因的独立基础学科。

由于人们认识到沉积矿产和油气与特定的岩石相联系,从而相的概念得到了应用和推广。丹麦地质学家斯坦诺(N. Steno,1669)首次把相(facies)一词引入地质文献中,但是赋予地层学和沉积学含义的则是瑞土地质学家格列斯利(A. Gressly,1838)。他首次用相(facies)表示具有相同岩石学特点和古生物学特点的岩石单位。随着研究的不断深入,对相的含义逐渐取得了共识,基本采用相是

沉积环境的物质表现,包含了物理特征、化学特征和生物特征(鲁欣,1953;Selly,1976)。沉积环境的定义基本形成了一致的含义(Shepard and Moore,1955; Twenhofel, 1950; Potter, 1967; Selly, 1970; Pettijohn,1975),主要理解为“在物理学上、化学上和生物学上有别于相邻地区的一块地球表面”(Selly,1976),比如海洋、沙漠、潮坪、三角洲等。“相”这一术语用到沉积学领域奠定了开展沉积相(岩相)古地理(古环境)研究的基础。虽然对沉积环境以及相的使用、分类和命名存在一定的分歧,但是人们一直在努力地探索,并提出了一些分类建议,作者(牟传龙,2022)也尝试性提出了代表物质环境含义的相的命名和分类建议方案(表1)。

德国地质学家瓦尔特可以说是岩相古地理学的先驱者和开拓者,他(1894)出版的《作为历史科学的地质学导论》极大地推动了沉积学和岩相古地理学的发展,提出了只有侧面相邻的沉积物才能一层层地整合叠合,从而沉积相的垂直层序不是随机的,而是以相互联系并可预测的方式组成的重要观点(Pettijohn,1975)。也就是说同一相区的不同沉积物在空间上是相互邻接的,在地壳剖面上它们是

表1 主要相、亚相、次相分类和命名(牟传龙,2022)

Table 1 Classification and naming of facies, subfacies and suborder facies(after Mou, 2022)

相组	相	亚相	次相
大陆相组	冲积扇	扇根、扇中、扇端	分支河道、主河道
	河流	河道、河漫滩	河床、心滩、边滩、天然堤、牛轭湖、决口扇、串沟、洪泛平原、沼泽
	湖泊	滨湖、浅湖、深湖	
		湖泊三角洲	三角洲平原、三角洲前缘、前三角洲
	沙漠	岩漠、戈壁(石漠)、旱谷、沙丘、沙漠湖、内陆盐碱滩	
	冰川	冰碛阜、蛇形丘、湖泊、三角洲、冲积平原	
	残积、坡积		
过渡相组	海岸	无障碍海岸	后滨、前滨、近滨
		有障壁海岸	障壁岛、潟湖、潮坪、碳酸盐台地
	三角洲	三角洲平原	分流河道、分流间洼地、天然堤、决口扇、河漫湖
		三角洲前缘	水下分流河道、水下决口扇、水下天然堤远沙坝、河口坝、分流间湾
		前三角洲	浅湖、深湖、浅海等
	河口湾	河流	河床、河漫滩
		潮坪	潮上、潮间、潮汐通道等
	陆缘近海湖	半咸水陆缘近海湖	滨湖、浅湖、深湖、湖泊三角洲、水下冲积扇、潮坪等
		咸水陆缘近海湖	
海相相组	浅海	陆棚	浅水陆棚(内陆棚)、深水陆棚(外陆棚)、
		陆棚边缘	陆棚边缘斜坡、陆棚边缘盆地
	深海	次深海	大陆坡、陆隆、海底扇
		深海盆地	深海平原、深海扇、深海山

重叠在一起的,这是一个具有深远意义的基本观点:只有那些没有间断的、现在能看到相互邻接的相和相区,才能重叠在一起,这就是著名的瓦尔特相律。这个相律指出,在整合垂直层序中产出的相,是在横向相邻的环境中形成的,同时,垂直接触的相必须是地理上邻接环境的产物(Reading, 1985),为相分析和岩相古地理的研究与编图提供了理论基础。值得注意的是,这一相律告诉人们在开展相分析和古地理重塑时非常重要的方法就是:虽然通过岩石的特征、沉积构造组合以及特殊的生物特征,可以对沉积岩形成的古地理即古环境进行推测和恢复,但是应该更加注意对相序进行分析,加强剖面结构或序列的分析是相分析的关键。同时,要非常关注剖面上相的叠置关系,只有整合接触的才能满足瓦尔特相律。不整合或间断的相序,则反映存在地质事件,导致相叠置的相不是相邻环境的产物。

索尔贝(Sorby, 1857)通过对现代的海洋、江湾、河流的调查表明,在自然地理和其中的水流之间存在明显的关系,而水流又在它影响之下形成的沉积物上留下了自己的印迹,所以从古代形成的印迹中可以确定水流的特点,从而根据标志是可以对其自然地理(沉积环境)加以推测的。这项工作就是古地理的重塑(Pettijohn, 1975),开启了古地理恢复的研究。可以这样说,索尔贝和瓦尔特对岩相古地理的研究作出了卓越贡献,是奠基人和开拓者。尔后,人们开启了相分析和古地理研究的热潮,取得了重要的成果。布林克曼(Brinkman, 1933)对欧洲中部三叠纪斑砂岩统(Buntsandsteinian Series)交错层理的杰出工作,认为系统测绘交错层可以获得重要的古地理资料,并可用于其他沉积属性,如粒度、化石和厚度等(Pettijohn, 1975),极大地推动了古水流和古地理的研究和重塑。裴蒂庄(Pettijohn, 1962)的《古水流和古地理学》以及波特等(Potter and Pettijohn, 1963)的《古水流和盆地分析》两部著作,详细总结了古水流和古地理分析的关系,以及与地质演化历史的科学逻辑,对推动和发展利用古水流开展古地理重塑和盆地分析做出了卓越的贡献。

Sloss et al. (1960)合作撰写的《Lithofacies maps: an atlas of the United States and southern Canada》总结了以往的沉积相研究成果的表示方法,提出了三角图划分法等,这对以后的岩相图编

制具有非常重要的作用(牟传龙, 2022)。同时代在苏联也开展了系统和大范围的古地理图、岩性图或岩相图和岩石纵向图的编制(纳利夫金等, 1963; 米哈伊洛娃, 1973)。由于岩相图对沉积矿产预测和油气勘探发挥了重要的作用,掀起了岩相古地理研究的热潮,极大地推动了岩相古地理学的完善和发展。

2 岩相古地理图编图目的要求

岩相古地理图是反映某一地质时期的古地理及其相应岩相的综合图件,是沉积和油气资源调查与勘探的重要基础图件。图上主要表达古地理单元、岩相类型、海陆界线(图1),也可增加海浸、物源方向和等厚线等内容,目的是了解区域上岩相古地理(相带)的空间分布和相带的空间配置,更好地为沉积矿产远景预测和油气地质调查和勘探开发服务。

按照编图基础资料的充分程度、研究的精细程度和服务的目标,岩相古地理图的编图比例尺各不相同。前苏联提出了相应比例尺的图名(表2)。编制前苏联的全国或大区域的古地理图的比例尺一般小于1:250万,而以预测沉积矿产和油气为目的的古地理图通常在1:50万—1:250万(引自地科院情报所, 1975)。

中国地质科学院情报所(1975)编译的《岩相古地理研究及编图方法》文辑,是较早把岩相古地理这个术语呈现到我国的文献,这部文辑把国外(尤其是前苏联)有关岩相古地理研究的基础理论和编图方法介绍到我国,对开启和推动我国的岩相古地理研究和编图起到了关键的作用。原地质矿产部于1979年成立全国性的岩相古地理研究与编图工作协作组,负责推动全国的岩相古地理研究与编图工作。由成都地质学院曾允孚教授编写的岩相古地理研究与编图工作提要中,明确了四类比例尺的岩相古地理图的要求和目的(刘宝珩和曾允孚, 1985),即概略性沉积古地理图,比例尺1:800万;小比例尺岩相古地理图,比例尺为1:200万—1:400万;中比例尺岩相古地理图,比例尺为1:50万—1:100万;大比例尺岩相古地理图,比例尺为1:5万—1:20万,与苏联的有所不同。在沿用曾允孚教授方案的基础上,作者增加了服务于油气地质调查与勘探的内容,同时建议增加一类“精细岩相古地理”,岩相古地理的相关术语可参考表1(牟传龙, 2022)的分类进行命名和使用。其基本要求和目的为:

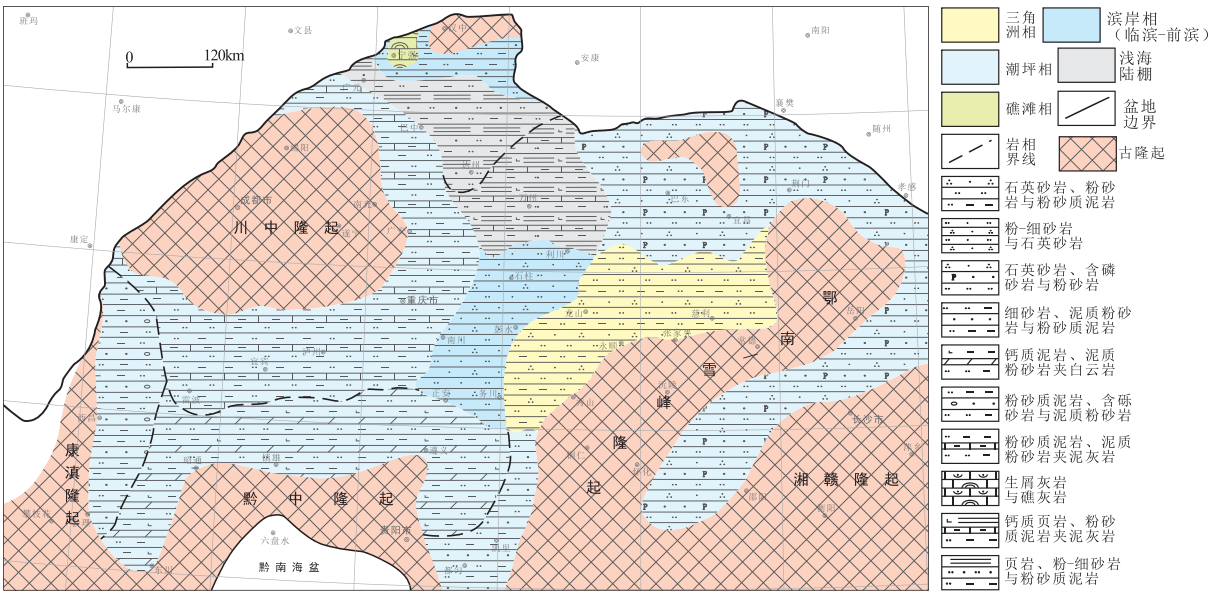


图1 中上扬子地区志留纪兰多维列世特列奇期岩相古地理图(据周恩恳等,2014)

Fig.1 Lithofacies palaeogeography of Silurian Landoverly Telychian period in Middle and Upper Yangtze region, China(After Zhou et al., 2014)

表2 前苏联编制古地理图的比例尺分类(引自地科院情报所,1975)

Table 2 Scale classification of palaeogeographic maps compiled by the former Soviet Union (Institute of Information, Chinese Academy of Geological Sciences, 1975)

图名	鲁欣(1959)	哈巴科夫(1962)	波波夫(1963)
概略图	1: 500 万,或更小	1: 1000 万,或更小	1: 250 万,或更小
区域图	/	1: 1000 万—150 万	/
小比例尺图	1: 250 万	/	/
中比例尺图	1: 100 万—1: 50 万	/	1: 100 万—1: 50 万
半详细图	/	/	1: 20 万—1: 10 万
详细图	/	1: 100 万—1: 10 万	1: 5 万,或更大
大比例尺图	1: 20 万—1: 10 万	/	/

2.1 概略性岩相古地理图

概略性岩相古地理图的比例尺小于 1: 800 万, 编图范围是大区、全国或者洲际性, 编图单元通常按“统”进行编制。其目的是在了解地层划分对比、区域上构造格局和沉积盆地类型分布的基础上, 概略性阐明岩相古地理格局, 分析海陆分布及其演化历史, 了解岩相的区域变化趋势和分布规律。

2.2 小比例尺岩相古地理图

小比例尺岩相古地理图的比例尺为 1: 200 万—1: 400 万, 编图范围以大区为主或更大范围。编图的前提是区域的地层划分对比格架清楚, 构造格架清晰。对成图按照“统”或“组”的地层单元编制。图上要求划分出海陆分布、沉积相带空间展布。沉积区分出“相”级至“亚相”级单元。对于沉积相的

研究, 要求选择区域具代表性的典型剖面开展详细的“亚相”级或“次相”级沉积环境的研究。目的是详细了解大区内岩相及其古地理的特征、变化趋势、沉积模式和沉积矿床、油气地质条件的有利相带及其区域分布规律。

2.3 中比例尺岩相古地理图

中比例尺岩相古地理图的比例尺是 1: 50 万—1: 100 万。编图单元为“组、段”, 图上要求划分出“亚相”沉积区。目的是在具有成矿远景区或油气远景区选择重要含矿或油气地质条件优越的时代或层位开展岩相古地理调查研究。需要时, 进一步开展研究区的构造地质研究, 厘定构造格架和沉积盆地类型的空间分布格架。进一步开展地层学研究工作, 厘定更为详细的地层划分对比方案, 为编

制岩相古地理图提供坚实的基础和前提。同时,有针对性地开展地球化学和“次相”级(牟传龙, 2022)、微相和成岩作用等研究,为阐明油气地质条件提供坚实的依据。

2.4 大比例尺岩相古地理图

大比例尺岩相古地理图的比例尺是 1:5 万—1:20 万,成图单元应是含矿层或含矿段、烃源岩和储层层位。要求对沉积次相和微相深入研究,建立沉积、成矿模式,探讨沉积相与成矿、油气地质条件之间关系。图上应该圈定出“亚相级”或“次相级”沉积区,岩相主要是表示与矿、烃源岩和储层有关的微相及其组合。必要时,可以编制成岩相图。对于沉积矿产来讲,大比例尺岩相古地理图的目的是直接服务于找矿与勘探,用于该目标时,岩相古地理研究不是基础地质研究,而是一种找矿方法。服务于油气地质调查和勘探时,大比例尺岩相古地理图是为了更加准确了解烃源岩的微相特征及其分布规律,最有利的烃源岩分布位置及其分布规律。通过沉积微相和成岩作用,确定有利相带、有利次相、有利微相以及有利成因作用和成岩相,准确厘定储层特征及其分布规律,为地震和钻井的精准部署提供坚实的基础。为了服务于油气勘探开发的需要,编制更大比例尺岩相古地理图是必要的。

2.5 精细岩相古地理图

精细岩相古地理图的比例尺大于 1:5 万。编图单元是含矿层段、沉积体系域、烃源岩和储集层段。编制这类岩相古地理图的目的是更加精准服务于沉积矿产的目标区、油气勘探的甜点区的选区评价、钻探工程的部署和能源资源的开发。编图基础为:(1)具有包括地表剖面、钻井和地震的翔实资料;(2)详细的地层划分对比格架;(3)详细的地表剖面沉积相、岩心、地震相和测井相的研究以及准确的横向对比;(4)有较为系统和详细的成岩作用和成岩相研究成果;(5)开展系统的层序地层研究,建立层序等时格架,厘定含矿层段、烃源岩和储层的体系域空间展布。要求对沉积次相、微相或成岩相进行深入研究,建立其与成矿、油气条件的成因关系,图上应该圈定出“次相级”沉积区,必要时编制成岩相图,提出油气有利目标区。

3 中国岩相古地理研究进展

岩相古地理研究与编图起源于欧美,一系列的教材、文章和专著为开展岩相古地理研究与编图提

供了理论基础和研究方法,为支撑服务沉积矿产和油气勘探奠定了坚实的基础。从研究成果看,国外早期最具特色的是岩相图的编制,用以分析区域上的岩性变化趋势,对岩相图的编制和解释给予了极大的关注。综合起来,国外更多是侧重于小比例尺的古地理的研究,聚焦全球古地理复原和动态研究(许效松, 1999)。以古地磁资料为依据,建立了全球数据库,编制了全球古地理复原图,但真正意义上的岩相古地理图比较少。通常岩相图仅仅反映岩相的空间变化,而缺少相应的古地理单元的限定。由于古环境或古地理不仅控制沉积层控矿床的形成和富集,而且控制着油气的基本地质条件,岩相古地理研究与编图已经成为沉积层控矿床预测和油气地质调查和勘探的关键基础工作,并在沉积层控矿床的找矿突破和油气的勘探突破起到了关键作用。与国外相比,我国在真正意义上的岩相古地理研究方面取得了丰硕的成果,尤其是为了满足沉积矿产和油气勘探的需要,在相分析的基础上,创新性地把岩相和古地理图的内容编制在同一张图上,形成了独具特色的一种图件,即岩相古地理图,其水平处于国际领先。

刘鸿允先生(1955)编制的《中国古地理图》掀开我国岩相古地理研究的序幕。该图集是以古生物地层学的理论为指导,编制了震旦纪—三叠纪期间的以纪或世为单位的 20 幅古地理图,基本上是海陆分布图(冯增昭, 1989),岩相的内容少有涉及。卢衍豪先生(1965)编制了中国寒武纪各时期的古地理图 8 幅,在海陆分布的基础上,增加了简单的岩石类型。李耀先等(1957)利用地层古生物资料,编制了大巴山西段早古生代岩相古地理图(共 11 幅),图中有海陆、岩石类型、古生物标志和相带等内容。该图内容和形式上已经超出原来主要是古地理而强化了沉积相(岩相),是以古生物地层学为指导思想的岩相古地理图,推动了由早期的古地理图向岩相古地理图的转变。

20 世纪 80 年代以后,随着国外沉积岩石学和沉积学理论传入我国,一系列教材的问世(刘宝珺等, 1980;刘宝珺和曾允孚主编, 1985;曾允孚和夏文杰等, 1986;余素玉和何镜宇等, 1989;何镜宇和孟祥化等, 1989;冯增昭, 1989; 1993, 等等),以及一系列期刊的出现,如《岩相古地理》、《沉积学报》、《古地理学报》,极大地推动了我国沉积学和岩相古地理研究,取得了海量的成果,标志着我国全面进入岩

相古地理研究发展阶段,并以不同的指导思想和编图方法编制了相关比例尺不同级次的岩相古地理图,广泛服务于油气和沉积、层控矿产调查与勘探。叶德胜等(1983)以沉积岩石学和沉积学的理论为指导,通过大量的野外地质工作,编制了贵州泥盆纪岩相古地理图,并指出了油气生成和储集的有利相带。这项工作是我国岩相、古地理研究的编图思想从古生物地层学向沉积学转变的典型代表之一,也是把岩相古地理研究与油气地质条件相结合的代表,开拓了油气勘探的新途径(冯增昭,1989)。关士聪等(1984)以大地构造学、地层学、沉积学和石油地质学理论为指导,出版了《中国海陆变迁海域沉积相与油气》。该书编制了晚元古代至三叠纪的海陆分布和沉积相25幅,强调了沉积相与油气的有机联系。这是一部大区域以服务于油气为目的的沉积相和古地理著作。王鸿祯等(1985)以全球构造活动论和地质历史阶段论为指导,编制出版了《中国古地理图集》。总结了我国各陆块间的造山形式,并编制了断代生物古地理图,丰富了地史重建的信息,对我国的地学发展和矿产预测产生了重要影响。冯增昭等(1989)以沉积岩石学和岩相学理论为指导,采用单因素分析综合作图法,编制了各大区部分地质时期的一系列定量岩相古地理图,推动了岩相古地理支撑油气勘探工作。刘宝珺和许效松等(1994)以沉积学、板块构造学等理论为指导,从活动论视野出发,按照“构造控盆、盆地控相”的思路,重点服务于沉积层控矿产预测,编制出版了《中国南方震旦纪—三叠纪岩相古地理图集》,并以角图形式,按照地质断代表示中国各块体在全球构造中的位置,体现了“活动论”。该图集是大区域岩相古地理研究的典型代表,具有里程碑意义,为我国沉积层控矿产预测和找矿突破起到了重要的指导作用。

20世纪90年代以来,我国的岩相古地理研究取得了世界瞩目的研究成果,在国际沉积学界具有很大的影响。各种比例尺和范围的岩相古地理研究成果层出不穷,尤其是服务于油气调查和勘探的成果更是显眼,并为我国的油气、页岩气勘探的突破提供了关键的科学依据。加之层序地层学和沉积地质学等理论的创新(Vail, 1987; Sloss, 1988; Sarg, 1988; Posamentier, 1988; Van Wagoner, 1988; Mail, 1990),对沉积学和岩相古地理的研究带来了新的活力,为提高岩相古地理研究的等时性、瞬时

性和客观性,更加精准服务于油气勘探提供了理论基础(牟传龙等,1992;2016)。牟传龙等(1992)将层序地层学与岩相古地理学有机结合,创立了“层序岩相古地理编图法”,力图解决岩相古地理图的等时性、成因连续性和实用性。其基本原则是“以沉积层序(depositional sequence)为基本年代地层格架单元,以沉积体系域(depositional systems tract)为编图单元,以沉积体系域的顶或底界面(sequence boundary, transgressive surface, condensed section)作为编图的等时或瞬时界面,以沉积体系域的不同沉积相作为编图要素”。并按照这种编图方法编制了华南泥盆纪层序岩相古地理(许效松等,1993)和湘鄂赣二叠纪层序岩相古地理(牟传龙等,1999),开拓了层序岩相古地理在油气勘探中的应用(马永生等,2006a, b; 牟传龙等,2007)。郑和荣、胡宗全等(2000)按照“以构造—沉积成因联系为主导,以缝合带为其两侧盆地的联系枢纽,以板块的岩相古地理再造目标,以前中生代油气地质条件为侧重点”的编图思路编制出版了《中国前中生代构造—岩相古地理图集》。总共编制了38个时间段构造—岩相古地理图,再现了中国前中生代海相层系的构造—沉积盆地格局、古地理特征与岩相分布及演化历史。马永生等(2009)以沉积学、层序地层学、石油地质学和板块构造学理论为指导,编制出版了《中国南方构造—层序岩相古地理图集(震旦纪—新近纪)》,该图集建立了中国南方震旦系—古近系的层序地层方案,不同盆地的层序地层格架和模式,揭示了构造—层序岩相古地理特征及其演化规律,深入分析了等时层序格架中生—储—盖组合特征及时空分布。

板块构造推动的地学革命和地球动力学的发展,使得人们深刻认识到全球的构造演化、海陆转换与重组必然导致全球能源、矿产的调整和重新配置(许效松,1999)。因此,全球古地理的复原(活动论古地理)及其海陆分布仍然是沉积地质学家们努力探索的前沿科学问题。但是,如何精准服务于能源资源发现与突破,在现今纬度上提高岩相古地理图的实用性,其编图思路和方法的创新也是人们孜孜不倦的追求目标。不同的板块构造位置、不同的动力机制决定了盆地的基本类型;不同的沉积盆地又制约了沉积体系、沉积特征、沉积充填序列和沉积式样;不同的沉积体系和沉积相又控制了最原始的生—储—盖地质条件,这一规律总结为“构造控

盆、盆地控相、相控油气基本地质条件”(牟传龙和许效松,2010)。

从2007年开始,在长达10年的时间中,笔者有幸承担了中石化“中国南华纪—新近纪岩相古地理与油气”“国家科技重大专项“全国油气地质基础地质研究与编图”和中国地质调查局“中国岩相古地理编图”项目任务。面对更好地服务于油气地质调查与勘探,支撑国家能源资源安全保障的重大需求,岩相古地理研究如何更好地服务于油气地质调查与勘探工作摆在了沉积学工作者的面前。紧紧围绕这一重大问题,深入分析岩相古地理与油气的关系,兼顾实用性和理论性,通过野外的详细系统的工作,充分利用中国地质调查局地质大调查的资料和成果、各大沉积盆地的地震、钻井等资料和公开发表的文章及专著成果,以“构造控盆、盆地控相、相控油气基本地质条件”为指导思想,以服务于油气地质调查和勘探为目标,编制出版了《中国岩相古地理图集(埃迪卡拉纪—志留纪)》(牟传龙等,2016),《中国岩相古地理图集(晚古生代—三叠纪)》即将问世。这套图集集中编制三大类图件:大区构造格架与沉积盆地类型分布图、大区岩相古地理图和重点盆地、重点层系、重点地区的油气地质条件图。该成果在编图思路、图件的表达等方面进行了新的尝试和创新,不仅在一些重要的地质科学问题、造山带的岩相古地理研究方法和重要地质事件等方面取得了新的进展,而且为页岩气和油气地质调查与勘探工作部署提供了科学依据,有力推动了岩相古地理理论研究水平,大大增强了岩相古地理在油气勘探中的应用价值。

4 结语

我国的岩相古地理研究与编图大致经历了三个大的发展时期。初始阶段:20世纪80年代以前,这个时期主体是以古生物地层学的理论为指导编制出版的大区域的古地理图集,集中反映海陆分布,岩相内容较少,较少的学者(李耀先等,1957)开展了岩相古地理的工作,开启了由古地理图向岩相古地理图转变的序幕。快速发展阶段:20世纪80年代至2000年,总体上是以大地构造学、古生物地层学、沉积学等理论为指导,开展了大量的岩相古地理研究与编图工作,并采取多种编图思路和方法编制大区域的岩相古地理图,是我国岩相古地理研究与编图大发展时期,形成了丰硕的理论和实践成

果。编制的图件不仅尽量体现活动性古地理的学术前沿,而且更多的是强化实用性,聚焦对沉积层控矿产预测和油气勘探的支撑和指导作用。这期间,将层序地层与岩相古地理研究结合起来产生的层序岩相古地理编图思路和方法(牟传龙等,1992),在岩相古地理图的等时性、瞬时性、连续性和客观性方面取得了创新性的进展,并广泛地应用于油气勘探领域中。现代阶段:2000年至今,岩相古地理研究与编图聚焦支撑油气地质调查与勘探成了这段时间的主题,采取不同的编图思路和方法编制出版了大区域的岩相古地理图。具有三大特点:一是编图资料丰富,技术方法新颖;二是编图思路先进,体现了以构造为主线,岩相古地理恢复为核心,支撑服务油气为根本的研究思路;三是以服务油气目标为特色。同时,我国在活动论古地理方面的成果辉煌,取得了重要的进展;在造山带岩相古地理研究方面也进行了有益的探索,提出了造山带岩相古地理图编图思路和方法(牟传龙等,2016)。提出了岩相古地理是页岩气地质调查指南(牟传龙等,2016;王秀平等,2018)的新认识,出版了《岩相古地理与页岩气地质调查》专著(牟传龙等,2017),为开展页岩气地质调查提供了思路和方法。总之,岩相古地理研究与编图是非常重要的基础地质研究,是区域沉积相研究的高度综合的成果。

大数据岩相古地理时代已经来临,大数据、人工智能将推动未来岩相古地理研究的发展和创新,我国在岩相古地理的等时性、服务沉积矿产找矿和油气勘探的精准性等方面一定会取得更多原创性的成果。编图思路和技术方法的创新是推动岩相古地理研究与编图发展的根本动力,其目标是支撑服务沉积矿产的预测和油气勘探开发,任务是集中开展岩相和古地理(古环境)的研究,关键是沉积体的识别和古地理(沉积环境)的恢复,重点是分析岩相古地理的时空分布规律,核心是岩相古地理编图。未来的岩相古地理研究要加强以下几方面的研究。

(1)加强地层连续性研究。自从瓦尔特提出相律以后,为开展相分析和岩相古地理图提供了根本理论方法。但是,该相律只能适用于没有间断和连续的地区,不适用于有间断、缺失和事件沉积的地方。因此,必须加强对地层的研究工作,不仅提高其等时性、瞬时性和横向对比的精度,而且要加强地层连续性的研究,并创新在这种条件下的相律的

内涵及其表达的方式。

(2)提高相分析的精度和准确性。岩相古地理图的成果价值取决于对沉积环境或古地理的重建程度。加强沉积物的物理标志、化学标志和生物标志的研究工作,充分利用现代测试技术方法,提高沉积环境或古地理恢复的准确性和科学性,这是岩相古地理研究的核心。

(3)提高岩相研究的水平。尤其是提高岩相的特征和纵向的变化的精细程度。包括与沉积矿产、烃源岩和储层相关的岩石在剖面上的层数、特征、组合面貌及其横向对比。提高地震资料的解译水平,满足岩相的横向追踪对比,为准确确定相与相之间的界线、古陆的确定等岩相古地理的关键要素提供坚强的支撑。提高岩相的研究水平,不仅加强对各种岩性组合(包括细粒沉积物)研究,而且要加强岩相与大地构造关系的研究。加强定量研究,推进定量岩相图的发展,实现定量岩相古地理图的转变。

(4)创新岩相古地理图的编图思路和方法。不同的编图思路和方法,会呈现不同的岩相古地理图及其内涵。编制岩相古地理图的一切方法都应该围绕等时性和实用性两个根本问题来展开。实现岩相古地理图的等时性,其根本的方法是要找到地层年代学的理论和定年技术手段。比如,层序地层学是否能成为建立地层等时性及其对比的理论方法?地层年代划分愈细,间隔愈短,对比愈准,编制的岩相古地理图愈等时,愈客观、愈瞬时、愈准确。在此基础上,如何编制岩相古地理图,采取什么方法编制,表达什么内容,如何表达是永恒的创新主体,但是应该以满足服务对象要求为准。

(5)大数据岩相古地理研究。21世纪是大数据的时代,岩相古地理的研究和编图已经进入大数据的建设和利用的创新时代。实现这一创新目标,从沉积剖面、钻井等数字化,增强岩相和沉积环境的横向和纵向的趋势研究和预测性,为区域岩相古地理图的编制、岩相古地理的空间分布提供更加准确和精细的支撑,从而大大提高岩相古地理图的客观性、等时性、瞬时性、准确性和预测性,更加服务好能源资源的勘探。

参考文献 (References):

Folk R L, 1965. Henry Clifton Sorby (1826 - 1908), founder of

- petrography[J]. *Journal of Geological Education*, 13(2):43 - 47.
- Krumbein W C, Sloss L L, 1963. *Stratigraphy and sedimentation* [M]. 2nd edition. San Francisco: Freeman, 1 - 660.
- Miall A D, 1990. *Principles of sedimentary basin analysis: introduction* [M]. Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona: Springer - Verlag.
- Moore R C, 1949. Meaning of facies [C]. In: Longwell C R (ed). *Sedimentary facies in geological history* [A]. The Geological Society of America Memoir, 39:1 - 34.
- Pettijohn F J, 1975. *Sedimentary rocks* (Third edition) [M]. New York: Harper and Row Inc. 628.
- Pettijohn F J, 1962. Paleocurrents and paleogeography [J]. *AAPG Bulletin*, 46(8):1468 - 1493.
- Pitman W C, 1978. Relationship between eustasy and stratigraphic sequence of passive margins [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 89(9):1389 - 1403.
- Posamentier H W, 1988. Eustatic controls on clastic deposition, I - conceptual framework [J]. *SEPM Special Publication*, 42.
- Potter P E, 1967. Sand bodies and sedimentary environments, a review [J]. *AAPG Bulletin*, 51(3):337 - 365.
- Potter P E, Pettijohn F J, 1963. *Paleocurrents and basin analysis* [M]. New York: Springer, 296.
- Sarg J F, 1988. Carbonate sequence stratigraphy. // *Sea-Level Changes - An Integrated Approach* [G]. *SEPM Special Publication*, 42:155 - 181. <https://doi.org/10.2110/pec.88.01.0155>
- Selley R C, 1970. *Ancient sedimentary environments* [M]. Ithaca New York: Cornell University Press: 237.
- Selley R C, 1976. *An introduction to sedimentology* [M]. London: Academic Press.
- Shepard F P, Moore D G, 1955. Central Texas coast sedimentation characteristics of sedimentary environment, recent history and diagenesis [C]. *Sedimentology of South Texas Field Trip Guidebook*, 95 - 97.
- Sloss L L, Dapples E C, Krumbein W C, 1960. Lithofacies maps: An atlas of the United States and southern Canada [M]. New York: Wiley, 1 - 108.
- Sloss J F, 1988. Forty years of sequence stratigraphy [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 100(11):1661 - 1665.
- Sorby H C, 1857. On the physical geography of the Tertiary estuary of the Isle of Wight [J]. *Quarterly Journal of the Geological Society* (1 - 2):137 - 138.
- Sorby H C, 1859. On the structures produced by the current present during the deposition of stratified rocks [J]. *Geologist*, 2:137 - 147.
- Sorby H C, 1879. On the structure and origin of limestones (presential address. 1879) [J]. *Proceedings of the Geological Society of London*, 35, 56 - 95.
- Sorby H C, 1880. On the structure and origin of non-calcareous stratified rocks (presential address. 1879) [J]. *Proceedings of the Geological Society of London*, 36: 46 - 92.
- Twenhofel W H, 1950. *Principles of sedimentation* [M]. New York:

- McGraw – Hill Co., 1 – 673 .
- Vail P R, 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy, Part 1: Seismic stratigraphy interpretation procedure [J]. AAPG Memoir, 36:129 – 144.
- Van Wagoner J E, Posamentier H W, Mitchum R M, et al., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions[M]. SEPM Special Publication.
- 曾允孚,夏文杰,1986. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社.
- 地科院情报研究所编译. 1975. 岩相古地理研究及编图方法[M]. 1 – 291.
- 冯增昭,1989. 碳酸盐岩岩相古地理学[M]. 北京:石油工业出版社.
- 冯增昭,1993. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社.
- 关士聪,1984. 中国海陆变迁海域沉积相与油气[M]. 北京:科学出版社.
- 何镜宇,孟祥化,1987. 沉积岩和沉积相模式及建造[M]. 北京:地质出版社.
- 李耀西,1975. 大巴山西段早古生代地层志[M]. 北京:地质出版社.
- 里丁 HG, 1985. 沉积环境和相[M]. 周明鉴等,译. 北京:科学出版社.
- 刘宝珺,1980. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社.
- 刘宝珺,曾允孚,1985. 岩相古地理基础和工作方法[M]. 北京:地质出版社.
- 刘宝珺,许效松,1994. 中国南方岩相古地理图集[M]. 北京:科学出版社.
- 刘鸿允,1955. 中国古地理图[M]. 北京:科学出版社.
- 卢衍豪,1965. 中国寒武纪岩相古地理轮廓初探[J]. 地质学报,45 (4):349 – 357.
- 鲁欣,张介涛译,1953. 沉积岩石学原理(中册)[M]. 北京:地质出版社.
- 马永生,陈洪德,王国力,2009. 中国南方构造 – 层序地层岩相古地理图集(震旦纪 – 新近纪)[M]. 北京:科学出版社.
- 马永生,牟传龙,郭旭升,等, 2006b. Sedimentary facies and distribution of the reservoir rocks from the Feixianguan Formation in the Daxian-Xuanhan region, northeastern Sichuan [J]. Acta Geologica Sinica, 80(1):137 – 151.
- 马永生,牟传龙,郭旭升,等,2006a. 川东北地区长兴组沉积特征与沉积格局. 地质论评,52(1):25 – 29.
- 牟传龙,马永生,谭钦银,等,2007. 四川通江 – 南江 – 巴中地区长兴组 – 飞仙关组沉积模式[J]. 地质学报,81(6):820 – 826.
- 牟传龙,丘东洲,王立全,等,2000. 湘鄂赣二叠系层序岩相古地理与油气[M]. 北京:地质出版社.
- 牟传龙,王启宇,王秀平,等,2016a. 岩相古地理研究可作为页岩气地质调查之指南[J]. 地质通报,35(1):10 – 19.
- 牟传龙,王启宇,王秀平,等,2016b. 造山带岩相古地理研究与实践[J]. 沉积学报,34(1):1 – 14.
- 牟传龙,王秀平,王启宇等,2017. 岩相古地理与页岩气地质调查[M]. 北京:科学出版社.
- 牟传龙,许效松,2010. 华南地区早古生代沉积演化与油气地质条件[J]. 沉积与特提斯地质,30(3):24 – 29.
- 牟传龙,许效松,林明,1992. 层序地层与岩相古地理编图——以华南泥盆纪为例[J]. 岩相古地理,10(4):1 – 9.
- 牟传龙,周恩恩,陈小炜等,2016. 中国岩相古地理图集(埃迪卡拉纪 – 志留纪)[M]. 北京:地质出版社.
- 牟传龙,马永生,谭钦银,等,2007. 四川通江 – 南江 – 巴中地区长兴组 – 飞仙关组沉积模式. 地质学报,81(6):820 – 826.
- 牟传龙,2022. 关于相的命名及其分类的建议[J/OL]. 沉积与特提斯地质, 42(3):331 – 339. <https://doi.org/10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.03001>
- 米哈伊洛 H A, 1973. 大比例尺岩相图及古地理图的编制方法[M]. //岩相古地理研究及编图方法. 北京:地质科学院情报研究所,1975.
- 纳利夫金 B Д,等,1963. 编制俄罗斯地台及其边缘地槽区岩相图和古地理图的基本原则[M]. //岩相古地理研究及编图方法. 北京:地质科学院情报研究所,1975.
- 王鸿祯,1985. 中国古地理图集[M]. 北京:地图出版社.
- 王秀平,牟传龙,王启宇,等,2018. 论岩相古地理可作为页岩气地质调查之指南[J]. 沉积学报,36(2):215 – 231.
- 许效松,1999. 古地理研究的前景与挑战[J]. 古地理学报,1(4):1 – 11.
- 许效松,牟传龙,林明,1993. 露头层序地层与华南泥盆纪古地理[M]. 成都:成都科技大学出版社.
- 叶德胜,等,1983. 贵州泥盆纪碳酸盐岩沉积相[J]. 沉积学报,1(2):84 – 95.
- 余素玉,何镜宇,1989. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社.
- 郑和荣,胡宗全,2000. 中国前中生代构造 – 岩相古地理图集[M]. 北京:地质出版社.
- 周恩恩,牟传龙,许效松,等, 2014. 华南中上扬子早志留世古地理与生储盖层分布[J]. 石油勘探与开发, 41(5):623 – 633.